

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 33320131151752

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

人工引种无瓣海桑在本土红树林湿地定植
扩散的关键过程

The Key Process of Colonization and Spread of *Sonneratia*
apetala introduced in the Local Mangrove Wetland

刘 凡

指导教师姓名: 胡宏友 副教授

杨盛昌 副教授

专 业 名 称: 环 境 工 程

论文提交日期: 2016 年 10 月

论文答辩时间: 2016 年 11 月

2016 年 11 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

摘要.....	I
Abstract.....	III
第 1 章 前言	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 无瓣海桑研究概况.....	2
1.3 无瓣海桑的生长特性.....	4
1.3.1 无瓣海桑的繁殖特性.....	4
1.3.2 无瓣海桑的扩散特性.....	5
1.3.3 无瓣海桑的定植特性.....	6
1.4 无瓣海桑的潜在入侵性.....	8
1.5 研究意义和内容.....	9
1.5.1 研究意义.....	9
1.5.2 研究内容.....	9
第 2 章 材料与方法	10
2.1 研究的思路和框架.....	10
2.2 野外试验样地概况.....	11
2.3 林窗生长实验.....	12
2.4 无瓣海桑种子发芽率实验.....	13
2.4.1 不同保存方式下的种子发芽实验.....	13
2.4.2 不同覆土厚度对种子发芽的影响.....	14
2.4.3 发芽率、发芽势、发芽指数的计算.....	14
2.5 果实凋落动态实验.....	14
2.6 果实及种子漂浮实验.....	15
2.6.1 果实漂浮实验.....	15
2.6.2 无瓣海桑种子的再漂浮实验.....	16
2.7 人工遮光控制生长实验.....	16

2.8 种子库分布及其影响因素	17
2.8.1 种子库的取样	17
2.8.2 种子的萌发	17
2.8.3 土壤调查	17
2.9 扩散模型	18
2.10 相关指标测定方法	18
2.10.1 叶绿素的测定	18
2.10.2 丙二醛的测定	19
2.10.3 抗氧化酶活性的测定	19
2.10.4 生长及生物量	20
2.10.5 光合速率、光响应曲线以及叶绿素荧光的测定	21
2.10.6 数据统计和处理	22
第 3 章 无瓣海桑果实的掉落动态与种子的萌发	23
3.1 无瓣海桑果实掉落的动态变化	23
3.2 无瓣海桑果实的漂浮与破裂特性	25
3.2.1 盐度对无瓣海桑果实的漂浮特性的影响	25
3.2.2 盐度对无瓣海桑果实破裂的影响	26
3.3 无瓣海桑种子的萌发	27
3.3.1 不同保存方式对无瓣海桑种子萌发的影响。	28
3.3.2 不同覆土厚度对无瓣海桑种子萌发的影响	29
3.4 讨论	30
第 4 章 无瓣海桑种子库的分布与扩散模型	32
4.1 无瓣海桑种子库的分布及种子的相关特性	32
4.1.1 无瓣海桑种子库的分布	32
4.1.2 种子库中种子活力的研究	35
4.1.3 种子库密度与环境因子的相关性分析	36
4.1.4 沉积物种子库中无瓣海桑种子的再漂浮能力	37
4.1.5 无瓣海桑的扩散模型	38
4.2 讨论	41

第 5 章	光因子对无瓣海桑幼苗定植生长和生理的影响	44
5.1	林窗面积对无瓣海桑幼苗生长的影响	44
5.1.1	林窗面积对无瓣海桑幼苗茎高生长的影响	44
5.1.2	林窗面积对无瓣海桑幼苗基径的影响	46
5.1.3	林窗面积对无瓣海桑幼苗叶片数的影响	46
5.1.4	林窗面积对无瓣海桑幼苗存活率的影响	47
5.1.5	林窗面积对无瓣海桑幼苗生物量的影响	47
5.2	林窗不同位置下无瓣海桑幼苗生长状态的比较	50
5.3	不同光照处理对无瓣海桑幼苗生长的影响	52
5.3.1	不同光照处理对无瓣海桑幼苗高度的影响	53
5.3.2	不同光处理对无瓣海桑幼苗基径的影响	54
5.3.3	不同光处理对无瓣海桑幼苗叶片生长的影响	55
5.3.4	不同光照处理对无瓣海桑幼苗生物量的影响	56
5.3.5	不同光照处理对无瓣海桑幼苗叶片叶绿素含量的影响	59
5.3.6	不同光照处理对无瓣海桑幼苗叶片光合特性的影响	59
5.3.7	不同光照处理对无瓣海桑幼苗丙二醛和脯氨酸含量的影响	63
5.3.8	不同光照处理对无瓣海桑幼苗叶片酶活性的影响	65
5.3.9	不同光照处理对无瓣海桑幼苗叶片可溶性糖含量的影响	67
5.4	讨论	68
5.4.1	林窗对无瓣海桑幼苗表观生长的影响	68
5.4.2	不同遮光处理对无瓣海桑幼苗生长的影响	69
5.4.3	光照水平对无瓣海桑幼苗生理的影响	70
第 6 章	总结与展望	75
6.1	总结	75
6.2	展望	76
参考文献	78
附录	93
致谢	94

Contents

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.2 Previous Research Progress in <i>Sonneratia apetala</i>	2
1.3 Growth Characteristics of <i>Sonneratia apetala</i>	4
1.3.1 Reproductive Characteristics	4
1.3.2 Dispersion Property	5
1.3.3 Colonization Characteristics	6
1.4 Potential Invasion of <i>Sonneratia apetala</i>	8
1.5 Research Objective and Contents	9
1.5.1 Research Objective	9
1.5.2 Research Contents	9
Chapter 2 Materials and Methods	10
2.1 Research Framework	10
2.2 General Situation of Experimental Field	11
2.3 Experiment on the Growth of <i>Sonneratia apetala</i> in Gap	12
2.4 Seeds Germination	13
2.4.1 Experiment on Seeds Germination under Different Preservation	13
2.4.2 Effect of Different Soil Thickness on Seeds Germination	14
2.4.3 The Calculation of the Index	14
2.5 Experiment on the Dynamics of Dropping Fruit	14
2.6 Experiment on Floating Fruit and Seed	15
2.6.1 Experiment on Floating Fruit	15
2.6.2 Experiment on Re-Floating Seed	16

2.7	Experiment on Growth under Shading Control.....	16
2.8	Seeds Bank Distribution and influencing Factors.....	17
2.8.1	Sample Collection.....	17
2.8.2	Seeds Germination Rate in Seeds Bank.....	17
2.8.3	Investigation of Soil Environmental Factor	17
2.9	Dispersion Model.....	18
2.10	Index Measurement.....	18
2.10.1	Chlorophyll II Content	18
2.10.2	MDA Content.....	19
2.10.3	Activities of Reactive-Oxygen-Scavenging Enzyme Content	19
2.10.4	Growth and Biomass.....	20
2.10.5	Photosynthesis of <i>Sonneratia apetala</i> Seedlings	21
2.10.6	Statistical Analysis	22
Chapter 3 The Dynamics of Dropping Fruit and Seeds Germination Rate		
	23
3.1	Characteristics of the Dynamics of Dropping Fruit.....	23
3.2	Characteristics of Fruit Floating and Fruit Breaking Pericarp.....	25
3.2.1	Effects of Salinity on Fruit Floating Rate.....	25
3.2.2	Effects of Salinity on Fruit Breaking Pericarp Rate	26
3.3	Seeds Germination of <i>Sonneratia apetala</i>	27
3.3.1	Effects of Different Preservation Way on Seeds Germination	28
3.3.2	Effects of Different Covering Depth on Seeds Germination.....	29
3.4	Discussion	30
Chapter 4 Distribution of Seeds Bank and Dispersion Model.....		32
4.1	Distribution and Characteristics of Seeds Bank.....	32
4.1.1	Density of Seeds Bank of <i>Sonneratia apetala</i>	32
4.1.2	Seeds Viability and Vigor	35
4.1.3	Correlations Between Seeds Density and Environment Factors	36
4.1.4	The Floating Rate of <i>Sonneratia apetala</i> Seeds	37

4.1.5	Dispersion Model.....	38
4.2	Discussion.....	41
Chapter 5 Effects of Light Factors on the Growth and Physiology of		
	<i>Sonneratia apetala</i> Seedlings.....	44
5.1	Effects of Gap Area on Growth Index of <i>Sonneratia apetala</i> Seedlings ...	44
5.1.1	Effects of Gap Area on Height of Seedlings.....	44
5.1.2	Effects of Gap Area on Stem basis Diameter of Seedlings.....	46
5.1.3	Effects of Gap Area on Leaf Number of Seedlings	46
5.1.4	Effects of Gap Area on Survive Rate of Seedlings.....	47
5.1.5	Effects of Gap Area on Biomass of Seedlings.....	47
5.2	Comparison of Seedlings Growth with Different Positions in Gap	50
5.3	Effects of Shading Rate on Growth Index of <i>Sonneratia apetala</i> Seedlings .	52
5.3.1	Effects of Shading Rate on Height of Seedlings.....	53
5.3.2	Effects of Shading Rate on Stem basis Diameter of Seedlings	54
5.3.3	Effects of Shading Rate on Stem basis Diameter of Seedlings	55
5.3.4	Effects of Shading Rate on Biomass of Seedlings.....	56
5.3.5	Effects of Shading Rate on Chlorophyll II Content.....	59
5.3.6	Effects of Shading Rate on Photosynthesis	59
5.3.7	Effects of Shading Rate on MDA and Free Proline Content	63
5.3.8	Effects of Shading Rate on Antioxidant System.....	65
5.3.9	Effects of Shading Rate on Soluble Sugar.....	67
5.4	Discussion	68
5.4.1	Effects of Gap Area on Growth of <i>Sonneratia apetala</i> Seedlings...	68
5.4.2	Effects of Shading Rate on Growth of <i>Sonneratia apetala</i> Seedlings.	69
5.4.3	Physiological Response to Light Factor in <i>Sonneratia apetala</i>	70
Chapter 6 Summary and Prospects.....		75
6.1	Summary	75

6.2 Prospects.....	76
References.....	78
Appendix.....	93
Acknowledgements.....	94

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)于 20 世纪 80 年代引入中国后, 由于其具备速生性、抗逆性等生理特点, 被广泛种植于中国华南沿海地区, 随着种植面积的增大, 人们对于无瓣海桑的入侵潜力产生了担忧。本研究选择雷州湾北家村红树林保护区为主要研究区域, 通过野外调查、野外种植、室内对照的方式研究了无瓣海桑的果实凋落、果实漂浮、土壤种子库分布、林窗内无瓣海桑的定植、光胁迫下的生理响应, 为无瓣海桑防治积累了科学的理论依据。本研究结果如下:

无瓣海桑的果实一年内有两次成熟期, 秋季为无瓣海桑成熟的主要季节, 秋季掉落果实量约为春季的 3 倍, 且秋季果实的直径、重量均要大于春季果实。无瓣海桑果实的漂浮能力与盐度有关, 盐度越大, 漂浮时间越长, 而果实的总破裂率则相反。盐度 30 PSU 处理下的无瓣海桑果实的漂浮率和总破裂率分别是 0、10、20 PSU 的 4 倍、12.2 倍、4 倍和 0.43、0.63、和 0.90 倍。

无瓣海桑种子脱离果实与否直接影响到种子的活力, 以果实状态保存的种子, 90 天时发芽率仍可达 84.33%, 而裸种保存时则小于 5%。同时, 覆土厚度对无瓣海桑种子的发芽率、发芽势、发芽指数均有显著影响。综合果实破裂与盐度的关系的实验结果可知, 高盐度海水环境可通过减少果实破裂提高无瓣海桑种子有效扩散时间。此外, 适当的覆土(厚度<1.5 cm)有利于促进无瓣海桑种子的发芽, 但过多的覆土则降低了其发芽率(厚度>2 cm)。

无瓣海桑的种子库的空间分布受潮汐的影响, 以母种林为中心沿潮流呈距离相关的高斯衰减式分布。调查区的无瓣海桑种子库密度以母本林内最高, 达 $27723 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。而扩散距离达 530 m 时, 仅为 $118 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在垂直方向上, 无瓣海桑种子分布主要集中在土壤层 0-10 cm 中, 10 cm 以下的密度相对较低。基于 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)的分析表明, 无瓣海桑子代成年株密度沿潮流方向并不呈现典型的高斯分布, 而呈现基于扩散核(Dispersal kernels)的分层扩散特点。

野外调查和研究表明, 林窗定植是无瓣海桑进入本土红树林的主要途径, 林窗大小及林窗空间位置直接影响无瓣海桑实生苗的生存状况。以秋茄(*Kandelia candel*)典型林窗面积(4 m^2 、 9 m^2 、 16 m^2)比较, 随着林窗面积的增大, 实生苗定

植一年后的存活分别达 8.89%、12.22%、20.00%。同时其基径和生物量增长也相应增加。对同一大小的林窗(16 m²)而言,从林窗中心到林窗边缘,光强由自然光强的 74.96%降低到 18.77%,定植一年的实生苗的存活率由 49%降低至 0%。这表明,影响林窗内无瓣海桑生长的主效环境因子为光照因子。

进一步通过室内实验研究了无瓣海桑幼苗生长和光合作用对光照强度的响应。结果表明,遮光率 0%、21%、45%、92%的处理下无瓣海桑幼苗的光饱和点分别为 409.48、303.84、259.28、223.04 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,这说明,遮光率 21%到 45%是幼苗叶片的光饱和点迅速下降区域。研究还表明,无瓣海桑光补偿点变化不明显,为 12.77-18.33 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,这说明,无瓣海桑适应弱光环境的能力较差,随着遮光率的增高,幼苗的叶片光合速率、蒸腾速率显著下降。MDA 含量减少,SOD 和 POD 酶活性增加,这些生理指标变化表明了遮光会导致光胁迫现象。这也解释了无瓣海桑在面积不同的林窗内光照辐射较差的位置下,出现更新不良或死亡的现象。

关键词: 无瓣海桑; 扩散; 定植; 过程

Abstract

Sonneratia apetala has been widely cultivated in coastal areas of South China due to its fast-growing and stress-resistant physiological characteristics since its introduction into China in the 1980s. Recently, invasive potential of the exotic species becomes more and more attractive with the increase of the *S. apetala* plantation area. The mangrove protection area of Beijia Village of Leizhou Bay was the main research area. Through the field investigation of the fruit litter, fruit floating, soil seed bank, forest-gap colonization and the laboratory experiment of light stress, we have got some scientific data which will benefit the future research on how to manage the *S. apetalaplantation*. The results are given as following:

The high fruiting stage of *S. apetala* became appears two times one year, the autumn and the spring. The diameter and weight of autumn fruits are larger than those of spring fruits. The floating ability of *S. apetala* w increases with the increacement of salinity. The fruit pericarp-breaking rate of *S. apetala* was negatively correlated with salinity. The total fruit pericarp-breaking rate of 30 PSU was 0.43, 0.63 and 0.90 times higher than that of 0 PSU, 10 PSU and 20 PSU.

Seedlessness of *S. apetala* has a direct effect on seed vigor. The seed germination rate was 84.33% at the 90th day and less than 5% when the seed was preserved. The thickness of soil cover had significant effects on the germination rate, germination potential and germination index of *S. apetala*. According to the experimental results of the relationship between pericarp-breaking and salinity, the high salinity seawater environment can improve the effective diffusion time of *Sonneratia apetala* by reducing fruit rupture. In addition, appropriate soil cover with thickness <1.5 cm promoted seed germination of *S. apetala*, but thickness >2 cm reduced the germination rate.

The spatial distribution of the seeds bank of *S. apetala* was affected by tide, and distributed in partern of Gaussian function. Therefore, the density of seed banks in the *S. apetala* forestwas 27723 ind · m⁻² and reduced into only 118 ind · m⁻² in the

dispersal distance of 530 m. The vertical profile investigation show that the 0-10 cm soil layer contained most part of the deposited seeds. Based on NDVI, the vegetation coverage of *S. apetala* did not show a typical Gaussian model, but showed a stratified diffusion characteristic which based on the diffuse kernel (Dispersal kernels).

Field investigation showed that gap was the main regeionof *S. apetala* seedlings into native mangroves, and the gap size and position in the gap had a direct impact on the survival rate of *S. apetala* seedlings. The survival rate of transplanted seedlings with the increasing gap area. was 8.89%, 12.22% and 20.00% after one year, respectively, compared with the area of typical canopy area (4 m², 9 m², 16 m²). While its base diameter and biomass growth also increased accordingly. For the same gap (16 m²), the light intensity decreased from 74.96% to 18.77% from the center to the edge, and the survival rate of the one-year seedlings reduced from 49% to 0%. The results showed that the main environmental factors affecting the growth of *S. apetala* in the gaps were illumination factors.

The light saturation point of *S. apetala* seedling under the shading rate of 0%, 21%, 45%, 92% treatment were 409.48 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 303.84 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 259.28 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 223.04 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively, which indicated that the light saturation point of the seedlings decreased gradually with the increase of shading rate, while the light compensation point difference was not significant . The results also showed that the light compensation point of *S. apetala* did not change obviously, which was 12.77-18.33 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, which indicated that *S. apetala* had less ability to adapt to low light environment. The results indicated that the MDA contents was decreased, but SOD and POD activity was increased, and these physiological changes indicated that shading rate could lead to light stress. This also explained that the *S. apetala* in the area of different gaps in the light irradiation within the poor location, the phenomenon of poor regeneration or death.

Key words: *Sonneratia apetala*; Poliferation; Colonization; Process

第1章 前言

1.1 研究背景

红树林是一种以常绿灌木或乔木为主的特殊植被类型，主要分布于热带、亚热带的潮间带的滩涂上(Saenger and Hegerl, 1988; 林鹏, 1997)。红树林生态系统周期性受到海水的浸淹,是陆地向海洋过渡的特殊生态系统(Duke et al., 2007),与其他生态系统相比,红树林兼具海洋和陆地生态系统的双重特性,是海岸生态系统中关键的组成部分(Kunstadter and Bird E, 1986)。在红树林生态系统中,红树植物通过光合作用,制造有机物质供自身的生长发育,植物的凋落物、果实作为红树林中生存的鱼、虾、蟹、等底栖动物的食物,红树林中的鸟类以小型动物或有害昆虫为食,鸟类的排泄物又可以作为红树林的肥料,保证了红树植物的生长。红树林的高生产力、高分解率、高归还率的“三高”特性使其能够维持自身的生态系统的能量流动和物质循环(Vane, 2009)。红树植物大多有茂密的林冠和发达的根系(王燕, 1998; Gilman et al., 2007),这些形态特征能够增加地面摩擦力,使潮水的流速减缓,有效地沉降海水中的悬浮物,吸附重金属,降解内陆径流内的有机物。对防风消浪、固岸护堤、促淤保滩、净化水质方面有重要的生态功能(林鹏, 1990)。从全球来看,红树林主要分布在 25° N-25° S 之间的海岸潮间带区域。东半球分布范围大,西半球分布的范围小(Giri et al., 2011)。中国的红树林的分布主要集中在台湾、广东、广西、福建、浙江等地的海岸、港湾(张乔民和张叶春, 1997)。天然分布的北界为福建省福鼎市(27°20' N),人工引种则是以浙江省乐清县(28°25' N)为北界(林鹏等, 1995)。近年来,由于生存环境的恶化,红树林的生态系统出现了严重的退化,与上世纪 80 年代相比,全球的红树林面积缩小了 35%,并且仍然在以每年 2.1%的速率在消失(Kauffman et al., 2009)。近些年,虽然红树林生态恶化问题得到了各国的重视,但仍以每年 0.66%的速率在减少中(Kuenzer, 2011)。我国的红树林生态湿地由于 80 年代围塘养殖、城市开发、海岸工程等建设措施,造成了红树林生态系统的崩溃,林分锐减 (Tri et al., 1998)。近 20 年来被占用的红树林面积大约为 12923.7 hm²,占红树林总面积的 58.7%(王燕, 2008)。

随着人们对红树林湿地的日益关注,世界各国都采取一系列的措施以减缓红树林退化的速率(Sanyal, 1998)。因此,为了保护沿海生态环境,维持海防林防线的资源,提高红树林林分质量和防风防浪的功效,许多科技人员外来红树林植物的引种及驯化做了很多的研究(李云等, 1998)。但是红树林生长的环境复杂,受到诸多环境因子的控制,不仅有光照、温度、盐度等一般的环境因子,还有潮汐、海浪等水文条件的作用(Lin and Zhang, 2006)。除了环境因素外,选种和引种也是另一个重要的因素,选择合适的树种在适宜的环境下生长才能保证成功地恢复红树林湿地。在这一背景下,无瓣海桑作为外来物种于 20 世纪 90 年代被广泛的种植于我国海南、广东、广西、福建沿海地区。(彭逸生等, 2008; Chen et al., 2009)。

1.2 无瓣海桑研究概况

无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)是一种优良的速生红树乔木。原产地为孟加拉国申达本,天然分布于印度、巴基斯坦、斯里兰卡、马来西亚等国(廖宝文等, 2004)。属海桑科,海桑属。成年无瓣海桑树高一般在 15-20 m 之间,胸径为 25-30 cm(王淑元等, 1996)。无瓣海桑主要生活在低潮带的泥质滩涂上,生长迅速,可以在短时间内郁闭成林(Jayatissa and Koedam, 2002)。无瓣海桑于 1985 年从孟加拉国引进我国海南东寨港红树林保护区,3 年开花结果,主干为圆柱形。有笋状的呼吸根伸出水面。茎干幼时绿色,成年灰色。小枝有隆起的节,纤细下垂。叶片呈原形或椭圆形,幼叶叶柄浅绿色,成年叶叶柄粉红色,叶对生,厚革质。总状花序,花呈绿色,花丝白色,花蕾为卵形。无瓣海桑自 1993 年引种至深圳后(李云等, 1998),相继北移至广东珠海、汕头、茂名等地(黄国红, 2003)。图 1-1 为无瓣海桑在我国华南沿海分布引种示意图。我国的无瓣海桑面积已经超过 2300 ha。在无瓣海桑的引种驯化中,科技研究人员总结了无瓣海桑在不同地区的引种育苗技术(钟才荣等, 2003; 陈玉军等, 2003; 陈汉珍等, 2005)。无瓣海桑是一种能够耐低温的红树树种(Field, 1999; 陈鹭真等, 2012)。移植一年后的无瓣海桑可以 5℃ 的温度下连续生存一个星期左右(蒋礼珍等, 2008)。高秀梅等人(1998)等人发现无瓣海桑引种北移后,细胞渗透性减小,抗寒性增强。在极端低温下,无瓣海桑的抗寒性要比海桑强(陈鹭真, 2010)。在极端低温时,海桑出现

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.